

## WPLYW INTERAKCJI KADMU Z OŁOWIEM NA PARAMETRY FLUORESCENCJI CHLOROFILU W KUKURYDZY

Czesława Jasiewicz<sup>1</sup>, Marcin Zemanek<sup>1</sup>, Franciszek Janowiak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie

<sup>2</sup>Zakład Fizjologii Roślin Polskiej Akademii Nauk w Krakowie

### Wstęp

Rośliny reprezentują część środowiska, przez którą do łańcucha troficznego może się dostawać wiele pierwiastków, wśród nich metale ciężkie. W warunkach nadmiernych koncentracji w środowisku przyrodniczym metale te oddziałują destruktywnie na organizmy na wielu poziomach jego organizacji i pełnionych funkcji [BORUVKA i in. 1997; CHAOUI 1997].

Istnieje wiele danych na temat zanieczyszczenia gleb i roślin przez pojedyncze metale ciężkie, lecz niewiele wiadomo na temat wpływu ich kombinacji. Brak jednoznacznych wyników skłania do podejmowania badań zmierzających do wyjaśnienia tych zjawisk.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wzrastających stężeń kadmu i stałej dawki ołowiu na zawartość tych metali w poszczególnych częściach kukurydzy oraz określenie parametrów fluorescencji chlorofilu w kukurydzy uprawianej w kulturach wodnych.

### Materiał i metody

Doświadczenie wegetacyjne prowadzono w warunkach kultur wodnych z kukurydzą (*Zea mays* L.) odmiany KLG-220. Kulturę roślin prowadzono na płynnej pożywce Hoaglanda o pH = 6,5 zmodyfikowanej o żelazo, które zastosowano w formie chelatu soli sodowo-żelazowej kwasu etylenodwuaminocteroocetowego – EDTA(NaFe). Urządzenia napowietrzające pracowały w ciągu całego okresu prowadzenia doświadczenia. Każdy obiekt obejmował 4 powtórzenia, a powtórzeniem było akwarium o pojemności 5 dm<sup>3</sup>, w którym rosły 4 rośliny. Metale ciężkie zastosowano w postaci: 3 CdSO<sub>4</sub>·8 H<sub>2</sub>O i Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Rośliny hodowane na pożywce Hoaglanda bez dodatku metalu ciężkiego były traktowane jako rośliny kontrolne w stosunku do pozostałych. Schemat doświadczenia przedstawiono w tab. 1.

Pomiaru zawartości Cd i Pb dokonano metodą spektrometrii emisyjnej przy użyciu spektrofotometru ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie (ICP-AES). Prezentowane zawartości metali stanowią średnią z dwóch powtórzeń.

Tabela 1; Table 1

Schemat oraz dawki metali zastosowanych w doświadczeniu  
 Experimental design and doses of metals applied in the experiment

Obiekt Object	Dawka kadmu; Cadmium dose (mg·dm <sup>-3</sup> )	Dawka ołowiu; Lead dose (mg·dm <sup>-3</sup> )
Kontrola; Control	0	0
Cd 1	0,3	0
Cd 2	1,2	0
Cd 3	4,8	0
Cd 4	19,2	0
Pb	0	48
Cd 1 + Pb	0,3	48
Cd 2 + Pb	1,2	48
Cd 3 + Pb	4,8	48
Cd 4 + Pb	19,2	48

Pomiary parametrów fluorescencji chlorofilu (plon,  $F'_v/F'_m$ ,  $t_{1/2}$ ,  $F_v/F_o$ ) wykonano za pomocą przenośnych fluorymetrów (PSM – Plant Stress Meter oraz PAM 2000 – Puls-Amplituden-Modulations-Fluorometer). Pomiary wykonano w 8 powtórzeniach.

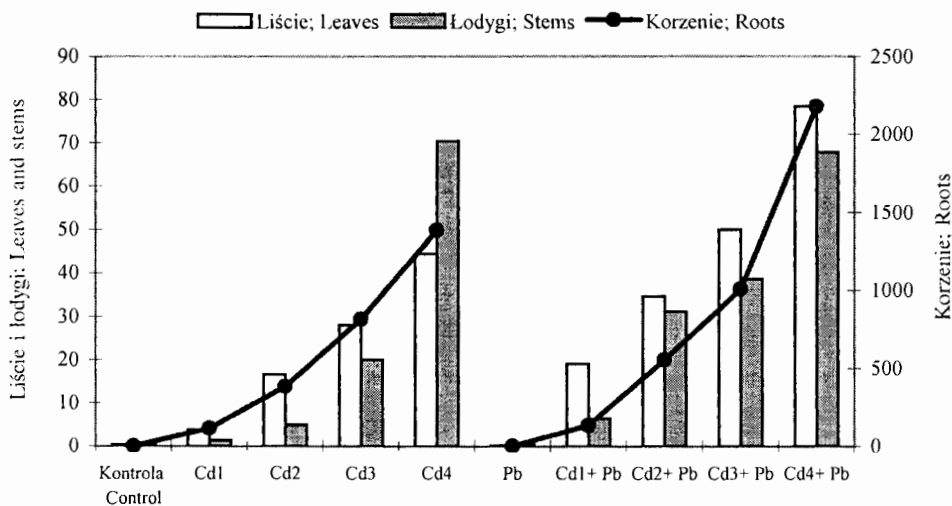
Statystyczną istotność różnic pomiędzy badanymi obiektami doświadczalnymi oceniano na podstawie analizy wariancji w układzie całkowicie losowym, wykorzystując test Duncana.

## Wyniki i dyskusja

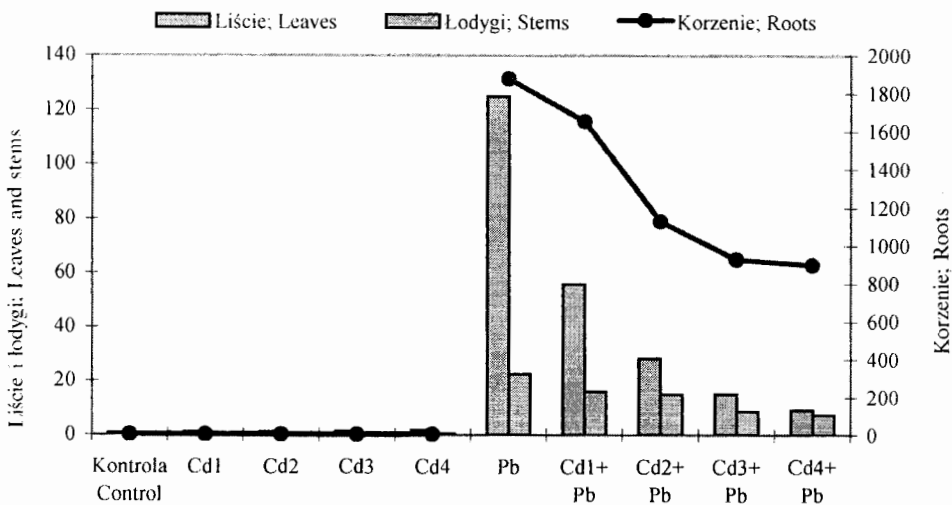
Na rys. 1 przedstawiono wpływ wzrastających dawek kadmu oraz stałej dawki ołowiu na zawartość kadmu. Pod względem rozmieszczenia badanych pierwiastków, zdecydowanie najwyższe zawartości stwierdzono w korzeniach, natomiast niższe w częściach nadziemnych. Generalnie, najwyższą zawartością kadmu charakteryzował się obiekt Cd 4 + Pb.

Zawartość kadmu w korzeniach mieściła się w szerokim zakresie 0,5–2180 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. W obiektach, w których zastosowano dodatek ołowiu, zawartość kadmu była wyższa, średnio o 35% od zawartości w obiektach bez dodatku ołowiu. Analizując części nadziemne należy stwierdzić, że w tym przypadku dodatek ołowiu również wywołał podwyższenie zawartości kadmu zarówno w łodygach jak i w liściach. Wyjątek stanowi porównanie obiektów Cd 4 z Cd 4 + Pb, gdzie zawartość kadmu w łodygach była na zbliżonym poziomie.

Na zawartość ołowiu w korzeniach wyraźny wpływ wywarły zastosowane dawki kadmu. W miarę wzrostu stężenia kadmu w podłożu następował spadek zawartości ołowiu we wszystkich analizowanych częściach kukurydzy (rys. 2). Zbliżone wyniki uzyskali JURKOWSKA i in. [1996] w doświadczeniu z owsem oraz GORLACH i GAMBUŚ [1989].



Rys. 1. Zawartość kadmu w badanej kukurydzy, mg·kg⁻¹ s.m.  
 Fig. 1. Content of cadmium in investigated maize, mg·kg⁻¹ DM



Rys. 2. Zawartość ołowiu w badanej kukurydzy, mg·kg⁻¹ s.m.  
 Fig. 2. Content of lead in investigated maize, mg·kg⁻¹ DM

Pomiary parametrów fluorescencji chlorofilu wykazały zmiany efektywności aparatu fotosyntetycznego roślin kukurydzy. Stosunek fluorescencji zmiennej ( $F'_v$ ) do maksymalnej ( $F'_m$ ) –  $F'_v/F'_m$  obrazuje maksymalną wydajność kwantową PS II. Spadek tego parametru jest dobrym wskaźnikiem uszkodzeń PS II po donorowej części wywołanych różnymi czynnikami stresowymi środowiska lub zmniejszonym zapotrzebowaniem na produkty stanowiące „siłę asymilacyjną” [KRAUSE, WEIS 1991]. Wysokie dawki kadmu (4,8 i 19,2 mg·dm⁻³) połączone z ołowiem dały efekt

Tabela 2; Table 2

Parametry fluorescencji chlorofilu w roślinach kukurydzy traktowanych wzrastającymi dawkami kadmu i stałą dawką ołowiu

Chlorophyll fluorescence parameters in maize treated with increasing doses of cadmium and constant dose of lead

Plon; Yield			
Obiekt; Object	Bez Pb; Without Pb	Pb	Średnia; Mean
Kontrola; Control	0,52 a	0,49 a	0,50 a
Cd 1	0,47 ab	0,50 a	0,48 a
Cd 2	0,40 b	0,45 ab	0,42 b
Cd 3	0,45 ab	0,52 a	0,49 a
Cd 4	0,50 a	0,46 ab	0,48 a
Średnia; Mean	0,47 r.n.	0,48 r.n.	-
$F'_v/F'_m$			
Kontrola; Control	0,748 a	0,743 a	0,745 a
Cd 1	0,747 a	0,744 a	0,746 a
Cd 2	0,747 a	0,734 a	0,741 ab
Cd 3	0,746 a	0,716 b	0,731 b
Cd 4	0,732 a	0,703 b	0,718 c
Średnia; Mean	0,748 a	0,728 b	-
$t_{1/2}$			
Kontrola; Control	157 ac	151 c	154 a
Cd 1	154 ac	148 c	151 a
Cd 2	129 bc	140 c	134 b
Cd 3	129 bc	134 b	132 b
Cd 4	115 bd	98 d	106 c
Średnia; Mean	137 r.n.	134 r.n.	-
$F_v/F_o$			
Kontrola; Control	2,98 ab	3,40 a	3,20 r.n.
Cd 1	3,34 a	3,38 a	3,36 r.n.
Cd 2	2,92 ab	3,06 ab	2,99 r.n.
Cd 3	3,52 a	2,99 ab	3,25 r.n.
Cd 4	3,33 a	2,56 b	2,94 r.n.
Średnia; Mean	3,22 r.n.	3,08 r.n.	-

$F'_v$  – fluorescencja zmienna (w liściu zaadaptowanym do światła); variable fluorescence (in light adapted leaves)

$F'_m$  – fluorescencja zmienna; variable fluorescence

$F'_m$  – fluorescencja maksymalna obserwowana, gdy wszystkie centra reakcji fotosystemu II (PS II) są zamknięte (w liściu zaadaptowanym do ciemności); maximal level of chlorophyll fluorescence when all photosystem II (PS II) reaction centers are closed (in dark-adapted leaves)

$F'_v/F'_m$  – potencjalna wydajność kwantowa PS II; apparent quantum yield of PS II

$F_o$  – fluorescencja wyjściowa obserwowana, gdy wszystkie centra reakcji PS II są otwarte (w liściu zaadaptowanym do ciemności); initial level of chlorophyll fluorescence when all PS II reaction centers are open (in dark adapted leaves)

$t_{1/2}$  – połówkowy czas przejścia od  $F_o$  do  $F'_m$ ; halfrise time from  $F_o$  to  $F'_m$

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Różne litery oznaczają istotne różnice pomiędzy obiektami wg testu Duncana; Different letters show significant treatment differences according to Duncan test ( $P < 0.05$ )

synergistyczny, przejawiający się obniżeniem sprawności fotochemicznej PS II (tab. 2). Parametr  $t_{1/2}$  jest również wskaźnikiem przebiegu reakcji fotochemicznych w fazie jasnej fotosyntezy. Określa on czas połowicznego wzrostu sygnału fluorescencyjnego od wartości minimalnej ( $F_o$ ) do wartości maksymalnej ( $F'_m$ ), potrzebny na wysycenie fotonami wszystkich centrów reakcji PS II. W przypadku tego parametru również połączenie najwyższych dawek kadmu z ołowiem wywołało wyraźne obniżenie wartości omawianego parametru (tab. 2). Obniżenie war-

tości współczynnika  $F_v/F_o$  wskazuje na zakłócenia efektywności kompleksu wydzielania tlenu, uważanego za najbardziej wrażliwe miejsce w łańcuchu fotosyntezy transportu elektronów na działanie czynników stresowych [HAVAUX, LANNONYE 1984]. Uzyskane wyniki wskazują na zakłócenia w tym kompleksie, szczególnie w obiekcie Cd 4 + Pb (tab. 2). Plon jest parametrem odzwierciedlającym efektywną wydajność kwantową fotosystemu II (PS II), a oznaczany w warunkach równowagi stacjonarnej roślin jest bardzo zbliżony do całkowitej kwantowej wydajności fotosyntezy. Jednakże okazał się on być mało czułym wskaźnikiem zmian w PS II. Odnotowano jedynie wpływ kadmu w dawce  $1,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , przejawiający się obniżeniem jego wartości (tab. 2).

### Wnioski

1. Wzrastające stężenia kadmu w pożywce obniżyły zawartość ołowiu w kukurydzy.
2. W przeciwieństwie do kadmu, dodatek ołowiu do pożywki spowodował wzrost zawartości kadmu we wszystkich analizowanych częściach kukurydzy.
3. Obniżenie sprawności fotochemicznej PS II miało miejsce wyłącznie w obiektach, w których zastosowano połączenie ołowiu z wysokimi dawkami kadmu.

### Literatura

- BORUVKA L., KOZAK J., KRISTOUFKOVA S. 1997. *Distribution of cadmium, lead and zinc in plants grown on heavily polluted soils*. Rostlinna Vyroba 43(6): 249–256.
- CIAOUI A., GHORBAL M.H., FERJANI E.E. 1997. *Effects of cadmium – zinc interactions on hydroponically grown bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Plant Science 126: 21–28.
- GORLACI E., GAMBUŚ F. 1989. *Wpływ interakcji pomiędzy metalami ciężkimi (Cd, Cu, Ni, Pb i Zn) w glebie na ich pobieranie przez życie wielokwiatową (Lolium multiflorum)*. Acta Agr. et Silvest., Ser. Agr. XXVIII: 61–71.
- HAVAUX M., LANNONYE R. 1984. *Effects of chilling temperatures on prompt and delayed chlorophyll fluorescence in maize and barley leaves*. Photosynthetica 18: 117–127.
- JURKOWSKA H., ROGÓZ A., WOJCIECIOWICZ T. 1996. *Interactive influence of big doses of Cu, Zn, Pb and Cd on their uptake by plants*. Polish J. Soil Sci. 29: 27–33.
- KRAUSE G.H., WEIS E. 1991. *Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics*. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol. 42: 313–349.

**Słowa kluczowe:** kukurydza, kadm, ołów, fluorescencja chlorofilu

### Streszczenie

Doświadczenie hydroponiczne zostało przeprowadzone w szklarni doświadczalnej. Schemat doświadczenia obejmował 10 obiektów ze wzrastającymi dawkami

mi kadmu i stałą dawką ołowiu. Określono zawartość kadmu oraz ołowiu w poszczególnych częściach kukurydzy. Ołów podwyższył zawartość kadmu, natomiast kadm spowodował obniżenie zawartości ołowiu zarówno w korzeniach, jak i liściach. Zmierzono następujące parametry fluorescencji chlorofilu:  $F'_v/F'_m$ ,  $t_{1/2}$ ,  $F_v/F_o$  i plon. Stosunek  $F'_v/F'_m$  uległ znaczącemu obniżeniu u roślin rosnących w pożywce zawierającej najwyższe dawki kadmu. Podobny efekt zaobserwowano w przypadku parametru  $F_v/F_o$ . Parametr  $t_{1/2}$  uległ obniżeniu pod wpływem kadmu, natomiast ołów nie miał wpływu na wartość tego parametru. Dawka kadmu:  $1,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  spowodowała istotne obniżenie wartości parametru plon. Mniejsze i większe dawki kadmu nie wpłynęły na wartości tego parametru.

## THE EFFECT OF CADMIUM - LEAD INTERACTION ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE PARAMETERS IN MAIZE

*Czesława Jasiewicz<sup>1</sup>, Marcin Zemanek<sup>1</sup>, Franciszek Janowiak<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University, Kraków

<sup>2</sup> Department of Plant Physiology, Polish Academy of Sciences, Kraków

Key words: maize, cadmium, lead, chlorophyll fluorescence

### Summary

This water culture experiment was carried out in greenhouse conditions. The experimental design comprised ten objects with increasing doses of cadmium and an invariable dose of lead. The content of cadmium and lead in particular parts of the maize was determined. Lead elevated cadmium content in maize, but cadmium caused a decrease of lead content both in roots and leaves. Changes of chlorophyll fluorescence parameters:  $F'_v/F'_m$ ,  $t_{1/2}$ ,  $F_v/F_o$  and yield were measured. The  $F'_v/F'_m$  ratio decreased considerably in plants growing on nutrient solution containing the highest cadmium doses. Similar effect was observed with parameter  $F_v/F_o$ . The parameter  $t_{1/2}$  decreased under the influence of cadmium but lead did not affect this parameter. Dose of cadmium -  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  caused a significant decrease of yield parameter. Lower and higher doses of cadmium did not affect this parameter.

Prof. dr hab. Czesława **Jasiewicz**  
Katedra Chemii Rolnej  
Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja  
al. Mickiewicza 21  
31-120 KRAKÓW  
e-mail: rjasiew@cyf-kr.edu.pl